

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РАСПЛАВА МЕТАЛЛА ВУДА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НИЗКОЧАСТОТНЫХ НЕСИММЕТРИЧНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Мусаева Д.А.¹, Гежа В.^{2,3}, Наке Б.³, Синявин А.А.¹, Гурьянов А.И.¹

¹Казанский государственный энергетический университет,

²Латвийский университет,

³Ганноверский университет им. Вильгельма Лейбница, Институт Электротехнологий
musaeva.d.a@gmail.com

В настоящее время развитие индустрии в направлении энергосбережения диктует необходимость поиска наиболее эффективного проведения технологических процессов. На данный момент электромагнитный нагрев и плавление являются одними из наиболее эффективных методов обработки материалов. В связи с большим распространением данных процессов, а также в связи со значительной их энергоёмкостью поиск путей энергосбережения и способов повышения качества конечного продукта в данной области представляет значительный интерес.

На данный момент мировой тенденцией в области энергосбережения и интенсификации технологических процессов является использование нестационарных процессов с периодическим подводом энергии [1, 2]. Данный способ во многих случаях приводит к повышению эффективности протекания процесса в период подведения энергии, а также к эффекту экономии энергоресурсов в связи с временным отсутствием их затрат в период действия сил инерции.

В качестве возможного приложения данного метода интенсификации в случае индукционного нагрева предполагается применение пульсирующего электромагнитного поля. Ожидается, что подобный нестационарный способ подвода энергии позволит увеличить эффективность протекания процессов плавления и затвердевания материала.

Исходя из мирового опыта применения пульсирующего электромагнитного поля для получения эффекта повышения качества затвердевающего металла, наибольший интерес представляют пульсации поля с низкой частотой [3], что обуславливается инертностью жидкости. Рядом авторов отмечается значительное улучшение микроструктуры затвердевающего материала под воздействием электромагнитных пульсаций, по сравнению с процессом кристаллизации в условиях отсутствия электромагнитного воздействия [4].

В связи со значительной сложностью проведения физического эксперимента, что связано с агрессивностью многих металлов, их непрозрачностью для большинства измерительных приборов, а также высокими температурами плавления, математическое моделирование является приемлемой альтернативой для формирования представления о поведении материала под воздействием нестационарных условий.

В данной работе под пульсирующим магнитным полем понимается кратковременное воздействие электромагнитного поля в полупериод T_1 (рис. 1) и отсутствие воздействия в следующий полупериод (T_2), сумма данных полупериодов будет составлять один период пульсаций (рис. 1).

В активный для электромагнитного поля промежуток времени T_1 сила тока в индукторах составляет $I = 2000$ А и имеет частоту $f_1 = 400$ Гц, в период отсутствия сообщения внешней силы расплаву ток в индукторах равен нулю.

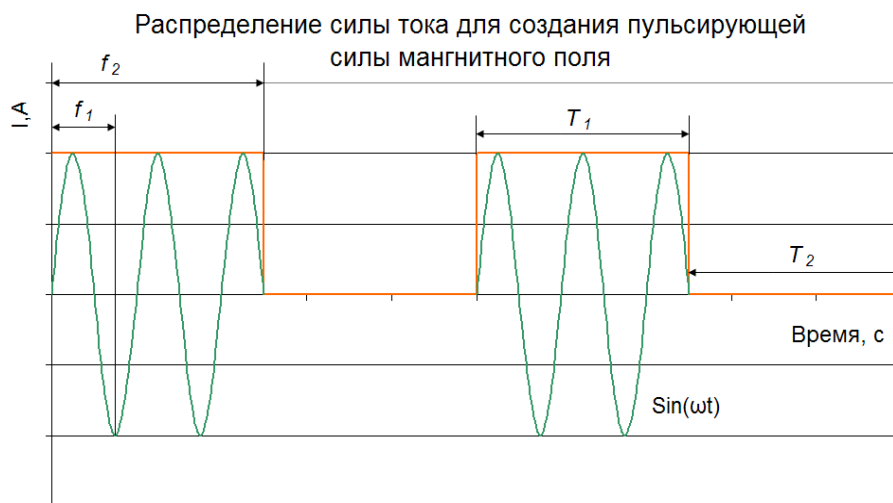


Рис. 1.
Пульсационный
способ подвода
энергии
к расплаву
(f_2 – частота пульсаций
силы электромагнитного
поля для
нестационарного
случая)

Степень несимметричности пульсаций определяется коэффициентом скважности (Ψ), который определяется как отношение менее продолжительного полупериода импульса T_1 к большему T_2 и изменяется в пределах от 0 до 1, где при $\Psi = 1$ имеются равные по времени промежутки действия и отсутствия силы электромагнитного поля. Под стационарным воздействием понимается непрерывное протекание тока в индукторах с частотой f_1 .

Расчёт силы пульсирующего магнитного поля проводится в программном пакете *ANSYS*, для моделирования гидродинамики используется приложение *Fluent*. Процесс движения жидкости на первом этапе исследования рассматривается в двухмерной осесимметричной постановке с применением *RANS* (*Reynolds Averaged Navier–Stokes*) моделей турбулентности. Гидродинамика в трёхмерной модели рассматривается с применением как *RANS*, так и *LES* (*Large Eddy Simulation*) моделей турбулентности.

Сравнивается изменение количества движения при импульсном подводе электромагнитного поля относительно процесса, протекающего при стационарном воздействии, путём сопоставления усреднённого по объёму значения турбулентной кинетической энергии.

На основании полученных данных был сделан вывод о применимости *RANS* моделей турбулентности в целях исследования. За счёт наличия усреднения скоростей, входящих в уравнение, описывающее изменение турбулентной кинетической энергии, происходит сглаживание резких изменений скорости, при этом влияние пульсирующего электромагнитного поля менее заметно, чем при применении *LES* модели (рис. 2, 3).

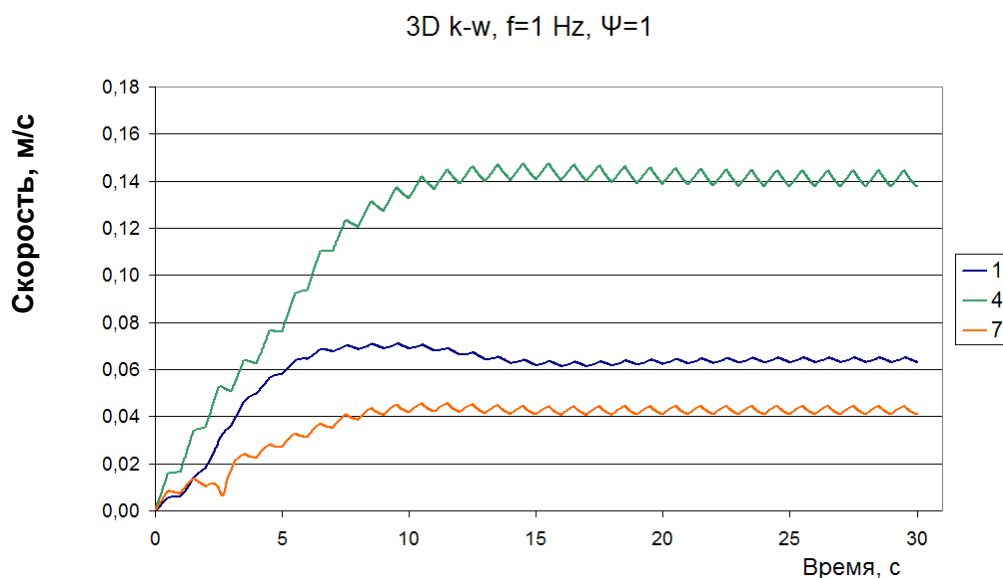


Рис. 2. Распределение скоростей в точках, расположенных на оси геометрии расплава высотой $H=570$ мм в результате моделирования с использованием k - ω модели турбулентности (1 – 285 мм; 4 – 427.5 мм; 7 – 10 мм)

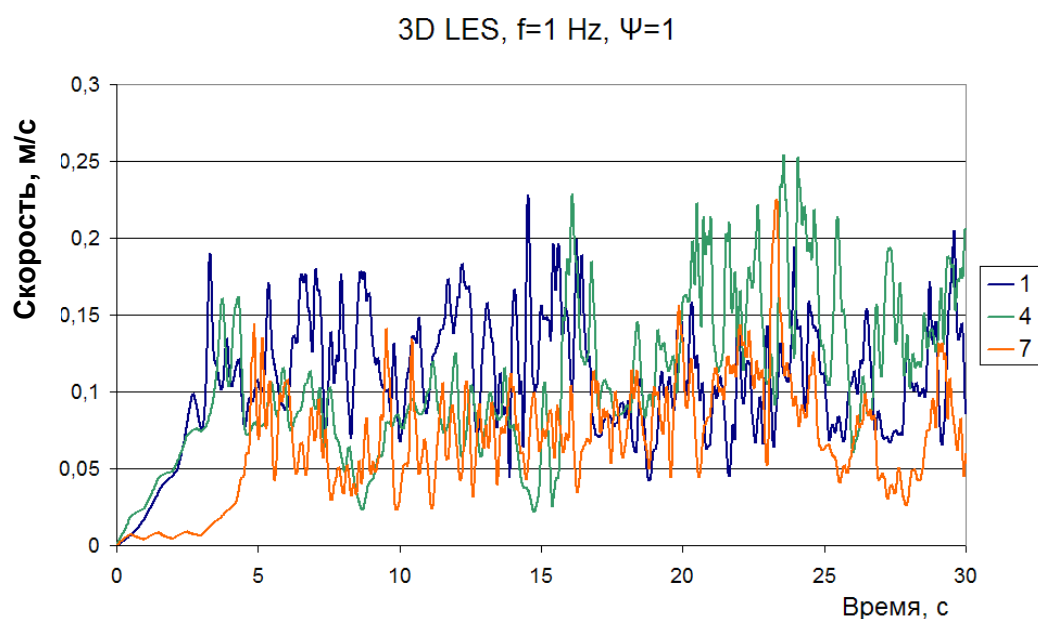


Рис. 3. Распределение скоростей в точках, расположенных на оси геометрии расплава высотой $H=570$ мм в результате моделирования с использованием LES модели турбулентности

Библиографический список

1. Inaba, T., Kubo, T. Enhanced heat transfer through oscillatory flow // J. Heat Transfer – Japanese Research. 1993. Vol.22. № 5. P. 480-92. Country of Publication: USA.
2. Olayiwola B.O., Walzel P. Flow pulsation and modified duct surface for process heat transfer intensification // International Journal of Chemical Reactor Engineering. 2007. Vol. 5. P. 10.
3. A. Radjai, K. Miwa, Effects of the intensity and frequency of electromagnetic vibrations on the microstructure refinement of hypereutectic Al–Si alloy // Melt. Mat. Mater. Trans. A 31A. 2000. P. 755–762.
4. Xiaoping Ma, Yingju Li, Yuansheng Yang. Refinement effect of pulsed magnetic field on superalloy IN718: from numerical simulation to experiment investigation // Journal of materials research. 2009. 0027.